第十四章 堆肥養分潛量評估及對作物生長之肥效

莊作權

中興大學土壤環境科學系教授

摘要

為使堆肥有效性發揮最大，必須使堆肥的養分礦化速率與作物養分吸收速率互相配合，並且瞭解堆肥的養分礦化潛量 (potential available nutrient, PAN) 大小，才能達到經濟且有效地使用堆肥。本文目的即針對堆肥養分潛量及對作物生長之肥效加以探討評估，以供日後研究及應用之參考。直接孵育法是目前較常用以估算堆肥可利用性養分潛力的方法之一。其方法是在土壤中直接添加堆肥予以孵育，而後定期分析土壤中無機養分變化量，用以估算堆肥可利用性養分潛力。由不同堆肥之孵育試驗結果顯示，有效性氮礦化量豬糞堆肥 210 mg/kg，垃圾堆肥為 155 mg/kg，換算成百分率豬糞堆肥約 12.2 %，垃圾堆肥約 8.5 %。直接孵育法測得之礦化量為淨礦化量。在土壤中固定化作用 (把無機養分變成有機成分，如微生物之繁殖) 和礦質化作用隨時都在進行中。當礦化作用大於固化作用，才有多餘的無機養分釋出，反之則消耗土壤中已有的無機養分。

另外利用化學方法分析有機質所含化合物成分種類及含量，以估算堆肥的養分礦化潛能，稱為化學分析指標法。由試驗已證實利用多種化學萃取法可分析得到堆肥可萃取性養

分量，並由玉米盆栽試驗得知利用碳酸銨分析所得堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥之淨有效氮量可建立一迴歸模式($\ln Y = \ln a + b/X$ ，Y：玉米植體氮吸收量， X：碳酸銨萃取堆肥之有效性氮量， $r^2 = 0.673^{**}$) ，因此利用碳酸銨萃取法估測堆肥可利用性氮潛力頗具可行性。唯一般經由實驗室內發展出之估算迴歸式，必須經過田間試驗之修正，以提高迴歸式估算的實用性。

一般不同有機資材種類的礦化特性即不同，且經過堆肥化的有機質肥料之礦化速率即較為緩和，其礦化量也低於原來有機材料。且使用堆肥同時配合適量化學肥料，可以適量提供養分供作物吸收，對作物產量及品質有許多正面的效益。由試驗結果顯示施用有機複肥及堆肥對土壤有機質含量等肥力之增進與維持較化肥為佳，其中前者對土壤有效氮及後者對土壤磷、鉀含量之提升，效果極為明顯。對養分吸收及產量之提升則以使用有機複肥為佳。因此適當的使用有機複肥將可以兼顧增進土壤肥力及提供足量養分，供作物吸收利用，以及提升作物產量等多重功能。

中英文關鍵字：

堆肥 (compost) ，養分礦化潛量 (potential available nutrient) ，作物生長 (growth of crops) 。

一、前　言

『中國祖先很早即懂得種植作物，除發展犁具以犁田並中耕除草等助力，其主要原因在於懂得將動物排泄

廢棄物、植物之殘體，甚至收集野外植生加入農田（綠肥），以永保土壤肥力，使之不至因耕作而消耗（吳，1990），如此耕作制度合乎自然而儼然發展成一永續農業，而此永續農業自古即相傳下來，顯然這是中華民族和中華文化之所以能夠長遠繁延的主要原因之一。隨著『綠色革命』的發生，以及為了滿足不斷膨脹人口所需要的營養食物，農業發展遂以冀求單位面積增產為標的，形成集約化及單一作物式的農耕模式。惟由於未能將中國自然循環的理念帶入，又未能合理的施用化學性肥料及農藥等，將可能影響到農業生態，如土壤性質劣變等問題（黃，1991；雷，1987），進而影響到土壤生產潛能（Bationo 與 Mokwunye，1991），且大量的農業廢棄物未能納入農業生產體系中循環利用，亦造成諸多環保及社會問題。

一般農業廢棄物均兼具污染性及資源性，如妥為處理，將能轉化為農業生產系統中的養分源（氮、磷、鉀）及能量源（碳）（黃，1991；嚴，1989）。因此將農業廢棄物回歸于農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，而且也是現今消納如此龐大量有機廢棄物之重要方向之一。然而施用未腐熟的有機物，容易造成土壤過度還原性及釋出毒性物質等問題（Harada，1990; Zocconi，1985）。因此有機廢棄物需經過適當的堆肥化處理以除去不良有機成分及毒性物質等限制作物生長的因子（Inoko，1982）。所謂堆肥化作用即利用廣泛分佈於自然界之微生物，在控制的條件下，將廢棄物中不穩定

的有機組成份加以分解，轉換為安定的腐植質成份，即腐熟的堆肥 (De Bertoldi 等， 1985; Inoko ， 1982) 。在堆肥化過程中，有機物基質中所含碳水化合物會迅速被微生物作用而分解，同時微生物之增殖必須吸收氮、磷等營養成份以合成微生物體質 (biomass) (Singh 與 Singh ， 1986) ，所以堆肥化前有機物基質中應含有豐富的營養要素成份，並需將堆肥化前有機物基質中各種成份調整至較適宜比例範圍內，以利於微生物進行堆肥化作用。

由於有機質必須經過微生物之分解作用，才能礦化釋出養分供作物吸收利用。然則當有機質礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者，皆不利作物生長 (Hendrix 等， 1992; Morachan 等， 1972) 。而且作物種類不同，需求養分成份自不同，若有機質肥料等肥料的養分成份能巧妙配合作物需求，則將使肥料的效益發揮大 (Hendrix 等， 1992; White ， 1979) 。唯當農田如長期施用單一種類之有機質肥料，極易造成土壤某些養分含量比例失衡 (Chang 等， 1991; Harada ， 1990) ，而當一次施用過量時，又可能形成土壤中養分累積及分解釋出過多之硝酸態氮等 (Jacobs ， 1990; Vivckanandan 與 Fixen ， 1990) 。為了農田能長期消納有機廢棄物，且避免不利作物生長或形成二次污染，即應審慎地評估有機質肥料之礦化特性及釋出養分被作物吸收或殘留土壤等肥效特性 (Castellanos 與 Pratt ， 1981; Collins 等， 1990) 。

於今利用農業有機廢棄物之首要策略即應根據科學方加以研究，並探討堆肥在土壤中之礦化機制 (Bitzer 與 Sims，1988; Douglas 與 Magdoff，1991)，對土壤與作物生長之影響效應(Juang 與 Chang，1992) 及其對環境影響等加以研究 (Benckiser 與 Simarmata，1994; Jokela，1992)，以使堆肥的效益發揮最恰當。本文目的即針對堆肥養分潛量及對作物生長之肥效加以探討評估，以期做為日後研究及應用之參考。

二、內容

本文內容將綜合若干試驗結果加以探討，(1) 直接孵育法應用以估算不同堆肥養分礦化潛能之試驗，(2) 化學萃取法應用以估算堆肥養分礦化潛能及其田間驗證試驗，(3) 使用有機複合肥料對水稻-玉米生育、產量及土壤肥力之影響。

(一)直接孵育法試驗

本試驗乃利用豬糞堆肥、垃圾堆肥於室內孵育箱進行 (莊等，1995)，並配合化學肥料 (尿素) 及空白處理，主要是瞭解不同堆肥之氮素礦化潛量及礦化速率等特性。供試土壤採自台南、高雄及中興大學農場三處，分別稱取 10 g 風乾過 2 mm 篩土樣配合等量氮成分之肥料處理，調整土壤水份至飽和容水量之 60 %，再置於 35 ^{0}C 孵育箱中，且定時加水以維持一定含水量，再於第 0，2，4，6，8，12 及 16 週分別取出，以 2 M KCl 抽

取測定有效性氮含量。由試驗結果顯示，在孵育開始時，豬糞堆肥之有效性氮含量最高（100 mg/kg 以上），隨後因微生物生物固定化而減少，之後再緩慢礦化釋出（remineralization），可見豬糞堆肥的施用不但可當速效性肥料，在作物生長期適時的供給養分，亦可當緩效性肥料以提昇土壤肥力。從最初期至第 2 週豬糞堆肥之有效性氮含量降低許多，除了生物固定化外，亦可能經由揮失的途徑損失。化肥處理在孵育最初期尚未水解或尿素還沒發揮效用，因此其有效性氮含量很低，几乎為零，之後尿素快速水解，有效性氮含量急遽上升，在第二週時水解速率達最高，往後雖水解仍繼續進行，速率已較為緩和，在有效性氮累積量或增或減，但變化並不明顯。

垃圾堆肥處理之氮礦化則以緩慢之速率進行，在高雄土壤從孵育最初到第 16 週有效性氮逐漸累積，至孵育終結達最高量約 43 mg/kg，相當於 8.1 % 的氮被礦化。台南土壤之最高礦化氮累積量（36.7 mg/kg）則出現在第 8 週，約可礦化出 6.9 %，8 週以後因微生物族群繁殖消耗部份無機態氮而逐漸地降低。興大土壤則在第 12 週（56.7 mg/kg）其礦化氮百分率約 10.6 %，可能由於興大土壤質地屬壤土，在適當水分及溫度下可礦化出較多的氮，隨後在孵育終結又因微生物固定化而降低。台南、高雄和興大三處土壤之空白處理礦化情形頗為一

致，均隨孵育時間而逐漸增加，至孵育期結束，其礦化氮百分率分別為 11.7 ， 7.8 和 9.1 % 。整體而言，影響氮素礦化的因子很多，本試驗已控制了水分、溫度兩項因子，除了與基質之組成分有很大的關係外，土壤質地亦扮演一重要角色。如豬糞堆肥在台南土壤孵育下，至孵育期結束，其礦化氮累積量几乎是化肥處理之一半，原因可能是其質地較砂，通氣較佳，環境適合微生物族群生長，有利礦化作的進行。反觀高雄及興大土壤，其豬糞堆肥和垃圾堆肥之淨礦化氮累積量甚至不及空白處理。空白處理之礦化趨勢，三種土壤雖頗為一致，不過其礦化氮百分率仍以台南土壤最高，約 11.7 % ，可見土壤本身之供氮容量是不可忽視的氮源。

利用好氣孵育試驗於不同期間所得之礦化氮，代入 Stanford (1972) 提出之運算式中，可計算不同處理的礦化潛能 （mineralization potential, No） 。今將化肥處理亦視之有機物，計算所得如表一所示。土壤質地不同，有機物之礦化潛能亦互異，空白處理以興大土壤最高 (121 ppm) ，化肥處理及垃圾堆肥亦是以興大土壤居冠，分別是 419 ppm 、 190 ppm ，而豬糞堆肥則以台南土壤表現較佳，礦化潛能為 227 ppm 。若不分土壤，僅就處理間的差異比較，則化肥處理 > 豬糞堆肥 > 垃圾堆肥 > 空白處理。若將化肥處理、豬糞堆肥及垃圾堆肥之礦化潛能與空白處理比較，依序大約是空白處理的

4、2及1.5倍。空白處理中以台南土壤 (82 ppm) 最低，其原因可能與其土壤全氮、有機碳、有機質含量有關，均是三種供試土壤中之最低者所致。Saito 與 Ishii (1987) 指出氮礦化潛能與土壤全氮含量有關，土壤全氮含量愈高，其礦化潛能愈大，但並無一定比例關係，而且有加堆肥處理者其礦化潛能要較未加堆肥處理者出 2 ～ 3 倍左右。將礦化潛能 (No) 代入 log(No - Nt) = logNo - k/2.303(t) 中，求得斜率再乘 2.303 即可得表二之礦化速率常數 (mineralization rate constant, k) 。不同土壤及不同處理間所得礦化速率常數變異很大，可能是本試驗所採用之孵育方法與前人試驗 (Stanford,1972; Castellanos 與 Pratt ， 1981) 採用之淋洗管淋洗以獲取礦化氮量，再逐次累加的方式不同所致。整體而言，以興大土壤之k值較大 (0.307) ，處理間以化肥處理之 k 值較小 (0.023 ～ 0.192) ，究其因乃尿素在孵育期之前二週已幾乎完全水解，爾後之變化不大，故導致所甫礦化速率常數偏低。因此礦化潛能愈高，通常其供氮容量亦愈大，但仍須配合礦化速率及作物生長期所需，方能真正評估有機質肥料之肥效，否則空有很大的礦化潛能，若礦化速率很低，恐有供不應求之虞。依據本孵育試驗結果顯示，利用孵育試驗可以適當測定不同堆肥之養分礦化潛量及礦化速率等特性，且經由作物栽培試驗可以再適當予以修正，以期能應用在不同土壤之

實際栽培。

表一、三種不同土壤之礦化潛能

	臺南	高雄	興大	平均
處理	ppm			
空白處理	82	101	121	101
化肥處理	374	392	419	395
豬糞堆肥	227	180	221	209
垃圾堆肥	131	144	190	155

莊等， 1995

表二、三種不同土壤之礦化速率常數

	臺南	高雄	興大
處理	$week^{-1}$		
空白處理	82	101	121
化肥處理	374	392	419
豬糞堆肥	227	180	221
垃圾堆肥	131	144	190

莊等， 1995

(二)化學萃取法試驗

由於許多研究指出單就有機物所含之要素成分尚不足以作為有機質肥料的礦化潛能之指標，而與其有機組成之種類及含量有密切關聯 (Collins

等，1990; Fox 等，1990)。由一般有機物在堆肥化中及堆肥在土壤中轉化之組合模式顯示，于一般作物生育期間（大多約為 3 ～ 5 個月），有機物或堆肥成分中可供微生物礦化分解之主要化合物部分，可歸類屬於無機及易分解有機部分 (Jacobs，1990)，如能發展出一種適當的化學萃取方法足以正確地將堆肥成分中易分解有機成分及無機部分加以分析定量，即能適切地估算出有機物及堆肥之可利用性養分潛力。因此本試驗即利用化學萃取方法以萃取分析堆肥中可利用性養分含量，再經由堆肥可利用性養分含量與玉米植體養分吸收量之分析，以發展出能適當的描述堆肥有效養分潛能之數學迴歸模式，以期能適當的描述施用堆肥之有效養分潛能與玉米生育狀況之實質關係。

本試驗之化學萃取劑選用 1 M 碳酸銨及 0.1 M 氫氧化鈉，其萃取方法與步驟參照如蔡等 (1995) 研究報告。由測得多種堆肥之可萃取性有機成分含量顯示，以 1 M 碳酸銨萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為 1727 ～ 5801 mg/kg，可萃取性有機磷含量約為 249 ～ 826 mg/kg，可萃取性有機碳含量約為 26 ～ 55 g/kg，以 0.1 M 氫氧化鈉萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為 4528 ～ 7654 mg/kg，可萃取性有機磷含量約為 390 ～ 1682 mg/kg，可萃取性有機碳含量約為 76 ～ 121 g/kg，顯然以 0.1 M 氫氧化鈉萃取堆肥所得之有

機成分含量高於 1 M 碳酸銨之萃取量。一般為期能估算有機質的可利用性養分潛力，可先利用不同化學方法分析有機質肥料中可礦化之有機組成分含量，再與施用有機質肥料之作物養分吸收量與土壤肥力反應相互探討，並據以建立適當的迴歸式予以評估 (Bitzer 與 Sims，1988; Sikora 與 McCoy，1990)。因此本節討論重點即為探討以化學萃取法所得之堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥處理在玉米生育期間的淨有效氮量之間的關係。Schaetzl 等 (1994) 研究報告中曾列舉出適用於描述土壤中會隨時間變化之作用機制 (soil chronofunction) 的 11 種數學模式。其中以 $\ln Y = \ln a + b/X$ 迴歸模式頗類似於本試驗所顯示不同堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之關係，表三即顯示利用此迴歸模式於不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之分析結果，其中由氫氧化鈉萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2 = 0.587^{**}$) 可達極顯著水準,由碳酸銨萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2 = 0.673^{**}$) 可達極顯著水準，由全氮作為估測堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2=0.605^{**}$) 可達極顯著水準。其中以碳酸銨萃取法所得迴歸式之相關係數最高，且其迴歸式參數之變異性相對較低，又驗證以碳酸銨萃取法所得堆肥可利用性氮含量與該堆

肥栽種玉米所得之堆肥淨有效氮量最接近，顯然以碳酸銨萃取法估測堆肥可利用性氮潛力較具可行性。

表三、利用不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性氮含量與堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之迴歸分析[a]

PAN[b]	R squared	Constant	X coefficient	Y max.
NN	0.587**	7.01 ± 0.30	- 374 ± 74	1112 ± 162
AN	0.673**	6.93 ± 0.31	- 142 ± 29	1021 ± 105
TN	0.605**	7.08 ± 0.30	- 1750 ± 336	1189 ± 228

a: regression $\ln Y = \ln A + B/X$, Y: estimated net mineralized N, X: potential available N of compost (PAN).

b: NN, AN, and TN means the PAN determined from chemical indices of 0.1 M NaOH extr. N, 1 M $(NH_4)_2CO_3$ extr. N, and Total N, respectively.

蔡等， 1995

由於一般經由實驗室內發展出之估算迴歸式，必須經過田間試驗之修正，以提高迴歸式估算的實用性 (Bitzer 與 Sims， 1988; Vigil 等， 1991)。因此有必要針對先前試驗所發展出之數學迴歸模式實施田間驗證工作，並據以修正，以期能更適當的描述田間施用堆肥之礦化特性與玉米生育及產量之

實質關係。本田間試驗分別于彰化縣大村鄉（粘板沖積土鹿港系）及台中縣外埔鄉（紅壤陳厝寮系）實施，試驗用堆肥為太空包雞糞堆肥 (MC)，堆肥成分之氮含量為 2.23 %，磷含量為 0.44 %，鉀含量為 1.41 %，碳含量為 37.5 %，pH 值約為 7.3。以碳酸銨萃取法所測得 MC 堆肥之可萃取性有機氮量為 3,422 mg/kg，可萃取性有機碳量為 51g/kg。由玉米抽穗期植株養分吸收量及乾物重試驗結果顯示 (表四)，以大村試區植 株乾物重而言，MC 堆肥用量 100t/ha 處理（試驗 3）之 184g/plant 最高，顯著地高於其它處理者，其次分別為化肥處理（試驗 2）的 170g/plant、堆肥用量 70t/ha 處理（試驗 4）的 163 g/plant 及堆肥用量 130 t/ha 處理的 157 g/plant，以上三處理間差異不顯著，另以對照處理（試驗 5）的 87 g/plant 最差。以植株氮吸收量而言，仍以 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 3,599 mg/plant 最高，顯著地高於其它處理者，其次分別為化肥處理的 3,276 mg/plant、堆肥用量 70t/ha 處理的 3,135 mg/plant 及堆肥用量 130t/ha 處理的 3,025 mg/plant，以上三處理間差異不顯著，另以對照處理的 1,454 mg/plant 最差。其中對照處理所顯示即為原土壤有機質的礦化特性，另以最高氮吸收量之 3,599mg/plant 而言，相當於每公頃 170 kg 的氮吸收量，此值與張 (1992) 之田間試驗玉米最高氮吸收量 171 kg/ha 之結果相

似。另外其它磷、鉀、鈣及鎂吸收量方面亦多以堆肥用量 100 t/ha 處理最高。

表四、大村試區玉米抽穗期植株養分吸收量乾物重及成熟期產量

處理	地上部乾重[a]	地上部養分吸收量[a]					產量[b]
		氮	磷	鉀	鈣	鎂	
	g/plant	-------------- mg/plant --------------					ton/ha
1	87c[z]	1454c	512c	2038d	864b	401c	4.71c
2	170b	3276b	783b	2886c	1413a	650b	7.61b
3	184a	3599a	876a	4206a	1455a	711a	8.78a
4	163b	3135b	829ab	3403b	1405a	610b	8.67a
5	157b	3025b	784b	3796b	1415a	593b	8.25ab

a: 抽穗期採樣。 b: 收穫期採樣。

z: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著

($p > 0.05$, Duncan's multiple range test)

蔡等,1998.

另由外埔試區結果顯示（表五），在植株乾物重方面，以 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 147 g/plant 及堆肥用量 130 t/ha 處理的 145 g/plant 最佳，顯著地高於其它處理者。其次分別為化肥處理的 130 g/plant 及堆肥用量 70 t/ha 處理的 110 g/plant ，以對照處理的 60 g/plant 最差。以植株氮

吸收量而言，則以 MC 堆肥用量 130 t/ha 處理的 2,735 mg/plant 最高，其次分別為堆肥用量 100 t/ha 處理之 2,284 mg/plant 、化肥處理的 2,074 mg/plant 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 1,762 mg/plant 及對照處理的 1,012 mg/plant ，以上五處理間差異顯著。另外其它如磷、鉀、鈣及鎂吸收量方面亦多以堆肥用量 130 t/ha 處理最高。

表五、外埔試區玉米抽穗期植株養分吸收量乾物重及成熟期產量

處理	地上部乾重[a]	地上部養分吸收量[a]					產量[b]
		氮	磷	鉀	鈣	鎂	
	g/plant	mg/plant					ton/ha
1	60d[z]	1012d	186c	839d	413d	204c	1.85c
2	130b	2074b	274b	1789c	821b	339b	5.83b
3	147a	2284b	439a	2328b	879ab	469a	6.44a
4	110c	1762c	296b	2101bc	755c	427a	5.99b
5	145a	2735a	434a	2720a	926a	449a	6.63a

a: 抽穗期採樣。 b: 收穫期採樣。

z: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著

(p > 0.05, Duncan's multiple range test)

蔡等,1998.

由大村試區玉米產量分析顯示（表四），依玉

米產量高低分別為 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 8.78 t/ha 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 8.67 t/ha 、堆肥用量 130 t/ha 處理的 8.25 t/ha 、化肥處理的 7.61 t/ha 及對照處理的 4.71 t/ha 最差。其中堆肥用量處理間差異不顯著，唯施用堆肥對玉米產量之效益顯著地高於化肥處理約 8.4 ～ 15.4 % 。由外埔試區玉米產量分析顯示（表五），依玉米產量高低分別為 MC 堆肥用量 130 t/ha 處理之 6.63 t/ha 、堆肥用量 100 t/ha 處理的 6.44 t/ha 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 5.99 t/ha 、化肥處理的 5.83 t/ha 及對照處理的 1.85 t/ha 最差。其中堆肥用量 130 及 100 t/ha 處理間差異不顯著，唯以上兩處理效益顯著地高於堆肥用量 70 t/ha 處理及化肥處理者。

綜合以上結果顯示，相同處理在兩試區的效應不盡相同，其原因應與兩試區土壤特性不同有關，以試驗前土壤有機質含量為例，大村試區土壤有機質含量為 32.4 g/kg ，外埔試區土壤有機質含量為 25.2 g/kg 。所以在相同空白對照處理下，大村試區玉米抽穗期植株氮吸收量為 1454 mg/plant ，產量為 4.71 t/ha ，外埔試區玉米抽穗期植株氮吸收量為 1,012 mg/plant ，產量為 1.85 t/ha ，其中玉米抽穗期植株氮吸收量，大村試區約高於外埔試區的 43.7 % ，而大村試區玉米產量約高於外埔試區的 154 % ，顯然大村試區粘板岩沖積土的生產潛力即

顯著地高於外埔試區紅壤者。莊等 (1993) 在農田土壤供氮能力之研究指出台南土壤約為 32 ～ 38 %，高雄土壤約為 27 ～ 40 %， 台中興大土壤約為 35 ～ 38 %。顯然不同土壤其供氮能力即不同，且土壤的供氮能力仍是不可忽略的來源。另由堆肥不同用量與玉米產量之迴歸分析顯示，大村試區的玉米產量在堆肥用量約 90 t/ha 時可得一最大估測值 8.87 t/ha，外埔試區之玉米產量則在試驗堆肥用量範圍內呈現持續上昇之趨勢，在堆肥用量 130 t/ha 之玉米產量估測值約為 7.23 t/ha，顯然不同土壤的生產潛能即有所差異，因此利用碳酸銨萃取法估算堆肥有效性氮含量，如經由田間試作酌以修正，將頗簡便且適用於實際田間栽培。

(三)使用有機複合肥料試驗

本試驗透過埤頭及名間二試區之水稻及玉米田間栽培試作 (莊等， 1997; 莊等， 1998)，比較施用有機複肥及堆肥與化肥對作物產量與土壤肥力之影響。彰化埤頭為水稻試區及南投名間為水稻-玉米輪作試區，試驗處理分為施用化學肥料、豬糞複合肥料、牛糞複合肥料、雞糞複合肥料、豬糞堆肥、牛糞堆肥、雞糞堆肥等七種處理。四重複，完全逢機試驗設計。試驗結果顯示埤頭試區土壤有機質比植前增加較明顯，但名間試區較不顯著。其中埤頭試區土壤施用三種複肥區之有機質顯著增加，尤以牛

糞複肥有機質含量 4.02 % 增加最為明顯。土壤有效性磷方面，埤頭試區以豬糞複肥對土壤有效性磷之提升較化肥顯著增加，其中以豬、牛、雞複肥區分別為 13.5 、 12.4 、 13.4 mg/kg ，比化肥區 10.6 mg/kg 顯著增加。名間試區水稻於分蘗期，豬糞、牛糞、雞糞複肥區皆比化肥區較為提升土壤有效性磷含量。土壤交換性鉀，則以豬、牛、雞複肥區，分別為 76.6 、 88.6 、 73.5 mg/kg ，較化肥 71.6 mg/kg 為高。玉米生長期間，土壤有效性養分供應，在成熟後也是以複肥區處理優於堆肥區處理。名間試區玉米之土壤有效性磷及交換性鉀，在膝高期到成熟期，牛糞複合肥料皆比其他有機複肥及化肥提供較多之養分，因此名間試區土壤施用牛糞複肥應具有較有利於作物生長及增進土壤地力之效益。土壤 pH 之變化在旱作玉米試區土壤中因硝化作用，較植前土壤下降，至成熟期下降比水稻區為大；水稻區 pH 先上升後在下降，最後因緩衝作用而趨於平衡，變化不大。其中玉米試區土壤下降程度比水稻試區為大，前者因硝化作用較強；後者因緩衝作用漸趨於平衡，較能維持土壤中性。

土壤有效性氮及硝酸態氮之變化，不同水稻試區土壤在生長期變化不同，埤頭試區以抽穗期較高，且高於名間試區甚多，名間試區則在成熟期時累積土壤中，顯然對水稻養分吸收及產量形成不利，這也是埤頭試區水稻高產量之原因。名間玉米試區土

壤有效性氮及硝酸態氮膝高期最高，抽穗期仍維持相當高，對玉米養分吸收及提高產量有利。銨態氮之變化小，各肥料處理間亦差異不大，影響肥力很小。土壤有效性氮之變化主要受硝酸態氮變化之影響，埤頭水稻之抽穗期土壤硝酸態氮含量高於名間試區，且名間水稻試區在成熟期有累積現象，都對埤頭水稻養分吸收較高及產量較高有關。名間玉米試區土壤硝酸態氮及有效性氮且以膝高期最高，抽穗期仍能保持相當含量，此對玉米高產量有關。綜合試驗結果顯示，無論水稻或玉米試區，化肥處理對作物提高養分含量較有機肥料區為佳，惟有機複肥及堆肥對提升土壤肥力之增進與維持較化肥為佳。但對土壤氮磷鉀肥力，有機肥料處理較肥處理較能提升，尤其土壤磷鉀肥力。同時有機複肥區之提升土壤氮之能力較堆肥為佳，但堆肥處理對土壤磷鉀提升能力較有機複肥為佳。

由作物產量結果顯示，埤頭試區之水稻產量，豬糞複肥區 7529 kg/ha 、牛糞複肥 7215 kg/ha 及雞糞複肥區 7998 kg/ha ，皆比相對之豬糞堆肥區 6556 kg/ha 、牛糞堆肥區 6447 kg/ha 及雞糞堆肥區 6997 kg/ha 為高。名間試區水稻產量僅雞糞複肥區 4378 kg/ha 比雞糞堆肥區 3706 kg/ha 為高,，其餘兩種複肥區之產量則未達顯著差異。名間玉米試區玉米產量以豬糞複肥區 8172 kg/ha 、牛糞複肥區 8556 kg/ha 及雞糞複肥區 7992 kg/ha ，分別比豬

糞堆肥區 78752 kg/ha 、牛糞堆肥區 8136 kg/ha 及雞糞肥區 7380 kg/ha 為高；其中豬糞複肥區、牛糞複肥區及牛糞堆肥區之產量均比化肥區 8076 kg/ha 為高。埤頭及名間水稻試區，分析收穫後之穀粒中養分，化肥處理區氮含量較其它有機複合肥料處理區為高，但磷鉀含量均以有機複合肥料及堆肥處理高於化肥處理，而有機複肥及堆肥處理間並無顯著差異。名間玉米試區不同生長期間葉片中含氮量各有機肥料處理間，以及與化肥處理均無顯著差異。葉片中磷、鉀含量在膝高期及成熟期各有機複肥及堆肥處理皆高於化肥處理，並以有機複合肥料處理高於相對之堆肥處理，顯示有機複合肥料提供磷鉀養分之優勢。有機複合肥料之施用，對作物產量之增加、土壤之地力增進、施用成本之降低，以及減少污染等優點觀之，其優越性應可肯定，建議擴大推廣施用。

表六、埤頭及名間試區施用不同有機肥料對水稻及玉米產量之影響

	水稻				玉米	
	埤頭		名間		名間	
肥料處理	產量	指數	產量	指數	產量	指數
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
化學肥料	945a†	100	5220a	100	8076b	100
豬糞複肥	7529bc	80	4454b	85	8172b	101
牛糞複肥	7215c	76	4078bc	78	8556a	106
雞糞複肥	7998b	85	4378bc	84	7992bc	99
豬糞複肥	6556d	69	4458b	85	7872bc	98

†: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著

($p > 0.05$, Duncan's multiple range test)

莊等,1997

參考文獻

1.吳聰賢 1990 農業史 p.15-32. 黎明文化事業出版。

2.林家棻、李子純、張愛華、陳卿英 1973 長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響。農業研究 22(4):241-262。

3.林鴻淇、王一雄 1986 廢棄物堆肥化過程中堆肥品質特徵及其檢定方法之研究。行政院衛生署環境保護局研究報告，台北，台灣。

4.莊作權 曾國力 蔡宜峰 陳鴻基 1998 施用有機複合肥料

及堆肥對輪作作物產量及不同生長期土壤肥力變化之影響 土壤與環境 1(3):185-200。

5.莊作權 曾國力 蔡宜峰 陳鴻基 1997 施用有機複合肥料及堆肥對輪作作物產量及不同生長期養分吸收之影響 農林學報 46(4):83-96。

6.莊作權 張宇旭 陳鴻基 1995 有機質肥料之氮素礦化量預測 "有機質肥料合理施用技術研討會專刊" p.228-241 台灣省農業試驗所特刊第 50 號。

7.莊作權 張宇旭 陳鴻基 1993 有機質肥料養分供應能力之評估 中華生質能源學會會誌 3-4:132-146。

8.黃山內 1991 豬糞堆肥在作物生產之利用 "豬糞處理、堆肥製造使用及管理研討會論文專輯" p.1-18 台灣省畜產試驗所編印(1991)。

9.張宇旭 : 施用有機質肥料對作物肥性及氮礦化之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文(1992). 。

10.蔡宜峰 莊作權 黃裕銘 1998 利用碳酸銨萃取法估算堆肥有效氮含量應用在玉米栽培之研究 中國農業化學會誌 36(5):493-502。

11.蔡宜峰 莊作權 黃裕銘 1995 堆肥有效養分潛能估測之研究 "有機質肥料合理施用技術研討會專刊" p.242-258 台灣省農業試驗所特刊第 50 號。

12.雷通明 1987 從土壤學觀點談農業現代化 中華水土保持學報 18(2):1-12。

13.嚴式清 1989 畜牧廢棄物在有機農業之利用 "有機農業研討會專集"，p.245-249 台中區農業改良場特刊 16 號。

14.Bationo, A., and A. U. Mokwunye. 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Fertilizer Research 29:117-125.

15.Benckiser, G., and T. Simarmata. 1994. Environmental impact of fertilizing soil by using sewage and animal wastes. Fertilizer Research 37:1-22.

16.Bitzer, C. C., and J. T. Sims. 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. J. Environ. Qual. 17:47-54.

17.Castellanos, J. Z., and P. F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:354-357.

18.Chae, Y. M., and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. J. Environ. Qual. 15:193-198.

19.Chang, C., T. G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual application of cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 20:475-480.

20.Collins, H. P., L. F. Elliott, R. W. Rickman, D. F. Bezdicek, and R. I. Papendick. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:780-785.

21.De Bertoldi, M., G. Vallint, A. Pera and F. Zucconi. 1985.

Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In: Composting of Agricultural and Other Wastes. (K. R. Gasser ed.). pp.27-41. Elsevier Applied Science Publishers. London and New York.

22.Douglas, B. F., and F. R. Magdoff. 1991. An Evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. J. Environ. Qual. 20:368-372.

23.Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant and Soil. 129:251-259.

24.Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No.311:19-31.

25.Hendrix, P. F., D. C. Coleman, and D. A. Crossley, Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy 2:63-82.

26.Inoko, A. 1982. The composting of organic materials and associated maturity problems. ASPAC/FFTC Technical Bulletin No.71:1-20.

27.Jacobs, L. W. 1990. Potential hazards when using organic materials as fertilizers for crop production. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 313:1-29.

28.Jokela, W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. Soil Sci. Soc. Am. J.

56:148-154.

29.Juang, T. C., and Y.S.Chang.1992. Effect of application of compost and manure on crop growth, nitrogen mineralization and nitrogen uptake under rice-corn rotation. Soil and Fertilizers in Taiwan. p.18-39.

30.Morachan, Y. B., W. C. Moldenhauer, and W. E. Larson. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn. I .Yields and soil physical properties. Agron. J. 64:199-203.

31.Saito, M., and K. Ishii. 1987. Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters. Soil Sci. Plant Nutri. 33:555-566.

32.Schaetzl, R. J., L. R. Barrett, and J. A. Winkler. 1994. Choosing models for soil chronofunctions and fitting them to data. European Journal of Soil Science 45:219-232.

33.Sikora, L. J., and J. L. McCoy. 1990. Attempts to determine available carbon in soils. Biol. Fertil. Soils. 9:19-24.

34.Singh, Y. P., and C.P. Singh. 1986. Effect of different carbonaceous compound on the transformation of soil nutrients. I .Immobilization and mineralization of applied nitrogen. Biol. Agric. Horti., 4:19-26.

35.Stanford, G., and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:465-472.

36.Vigil, M. F., D. E. Kissel and S. J. Smith. 1991. Field crop recovery and modeling of nitrogen mineralized from labeled

sorghum residues. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1031-1037.

37.Vivckanandan, M., and P. E. Fixen. 1990. Effect of large manure applications on soil P intensity. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 21:287-297.

38.White, R. H. 1979. Nutrient cycling. p.129-143. In Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publications. Oxford. London.

39.Zocconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. de. Bertoldi. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter.p.73-86. *In* J. K. R. Gasser (ed.) Composting of Agricultural and Other Wastes. Elsevier. London & New York.